



УДК [556.555:574.5]:51-7

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.30>

Выявление уникальных озер с использованием геоинформационных систем на примере Ненецкого автономного округа

А. В. Измайлова*

Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Н. Ю. Корнеевкова, А. М. Расулова

Институт озероведения РАН – обособленное структурное подразделение

Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Продемонстрированы возможности применения геоинформационных систем и кластерных методов идентификации аномалий для выявления уникальных озер Ненецкого автономного округа по морфометрическим характеристикам с целью их дальнейшего изучения в полевых условиях и перспективой присвоения им особого охранного статуса. Тестовый регион исследования был ограничен особо охраняемыми природными территориями Ненецкого автономного округа. Актуальность работы определена обширностью и труднодоступностью северных регионов, что приводит к необходимости предварительного выявления объектов, наиболее интересных для экспедиционных исследований. Для определения морфометрических характеристик водоемов было проведено дешифрирование космических снимков с использованием геоинформационной системы QGIS. Выборка озер составлена с помощью геоморфологической схемы, на основе которой определялась принадлежность водного объекта к той или иной генетической категории поверхности. Для идентификации аномальных значений в выборке была использована модель двухэтапной кластеризации (TwoStep Cluster). В результате применения алгоритма TwoStep Cluster к выборке морфометрических параметров озер были выявлены 42 объекта. Озера, интерпретированные алгоритмом TwoStep Cluster как аномалии, проверялись с помощью экспертной оценки. Для малонаселенных и логистически сложных северных территорий применение подобного подхода является важным элементом планирования полевых работ.

Ключевые слова: уникальные озера, поиск аномалий, выбросы, картография, методы машинного обучения, кластеризация.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 20-05-00303\22 «Выявление критериев уникальности озерных экосистем».

Для цитирования: Измайлова А. В., Корнеевкова Н. Ю., Расулова А. М. Выявление уникальных озер с использованием геоинформационных систем на примере Ненецкого автономного округа // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 43. С. 30–45. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.30>

Identification of Unique Lakes Using Geographic Information Systems on the Example of the Nenets Autonomous Okrug

A. V. Izmailova*

State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russian Federation

N. Yu. Korneenkova, A. M. Rasulova

Institute of Limnology RAS – a Separate Structural Subdivision of St. Petersburg Federal Research Center RAS, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The possibilities of using geographic information systems (GIS) and cluster methods for identifying anomalies to identify unique lakes in the Nenets Autonomous Okrug (NAO) are demonstrated. The following tasks have been solved: 1) determination of the morphometric characteristics of lakes using methods of remote sensing of the Earth; 2) identification of anomalous morphometric characteristics by mathematical methods; 3) expert evaluation of the lakes resulting from the analysis to confirm their unique characteristics for the purpose of subsequent research and assigning them a special status. The relevance of the work is caused by the vastness and inaccessibility of the northern regions, which leads to the need for preliminary identification of objects that are most interesting for expeditionary research. In protected areas, objects that differ in their anomalous characteristics may be of particular interest. The test region of the study was limited by the boundaries of specially protected natural areas of the NAO. The deciphering of the lakes was carried out using the Global Forest Change data set. Raster processing and extraction of areal characteristics of water bodies were carried out in the QGIS software environment. The entire data set was divided into several groups according to the genetic category of the surface, which were also analyzed when identifying anomalies. This approach makes it possible to identify anomalous objects within a particular landscape. For data processing, the IBM SPSS Modeler software application was used, where the anomaly search is based on a two-stage clustering model. The search for anomalies by cluster methods is based on the fact that if the values of an instance are removed from the center of the cluster by more than a certain amount, then the object is considered an anomaly. As a result of applying the TwoStep Cluster algorithm to the sample of morphometric parameters of lakes, 42 anomalous objects were identified. The expert assessment confirmed that the identified lakes are of interest for further research. The final set included such well-known lakes as Golodnaya Guba, Peschanka-To, Kuznetskoe-To, as well as a number of small water bodies that stand out sharply for their peculiar characteristics in comparison with most of the lakes in the study region. For sparsely populated and logistically complex northern territories, the use of such an approach is an important element of field work planning.

Keywords: unique lakes, anomaly identification, outliers, cartography, machine learning methods, clustering.

For citation: Izmailova A. V., Korneenkova N. Yu., Rasulova A. M. Identification of Unique Lakes Using Geographic Information Systems on the Example of the Nenets Autonomous Okrug. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2023, vol. 43, pp. 30-45. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.30> (in Russian)

Введение

Активная антропогенная деятельность, сопровождающаяся масштабным загрязнением окружающей среды, требует принятия специальных консервативных мер для охраны наиболее ценных объектов природы. Одной из таких мер является закрепление за ними статуса охраняемых территорий различного уровня. Среди объектов охраны наряду с ландшафтами нередко выступают и водные экосистемы, при этом охранный статус может присваиваться как

конкретному водоему, так и целому комплексу наземных и водных геосистем определенной местности с привязанными к ним биоценозами. Примером последних являются заказники регионального значения «Ненецкий» и «Нижнепечорский», а также заповедник «Ненецкий», расположенные на территории Ненецкого автономного округа (НАО). При выделении в качестве объекта охраны конкретного водного объекта его статус чаще всего определяется необходимостью защиты среды обитания редких видов животных или растений, зафиксированных в данном водоеме или близ него. В то же время при выделении комплекса наземных и водных экосистем конкретной территории значимость отдельных водоемов остается неопределенной. При этом в силу их огромного количества на охраняемых территориях (на севере страны) они требуют к себе разных подходов.

Предметом особого научного интереса могут являться уникальные водоемы, отличающиеся не только своеобразной биотой, но и редкими абиотическими характеристиками, связанными с происхождением озера, его необычным для данного экотопа развитием. И если для подтверждения наличия в водоеме редких видов флоры и фауны необходимы специальные полевые исследования, то в последнем случае для оценки водоемов – претендентов на звание уникального водного объекта допустим предварительный камеральный анализ картографического материала и спутниковых снимков с дальнейшей обработкой и анализом данных на предмет поиска своеобразных по своим морфометрическим особенностям водных котловин [Расулова, Измайлова, 2021]. Интересно, что многие котловины, отличающиеся своеобразием морфометрических характеристик вследствие взаимной обусловленности происходящих в озерах процессов, часто обладают и редкими гидрохимическими качествами, а подчас и необычной биотой [Поздняков, Измайлова, Расулова, 2020].

Задача настоящего исследования – на примере водоемов крупнейших особо охраняемых природных территорий (ООПТ) НАО продемонстрировать возможности использования ГИС (с целью определения морфометрических характеристик неизученных водоемов) и кластерных моделей идентификации аномальных значений с дальнейшей экспертной оценкой их уникальных характеристик. Для сложноступных северных регионов использование подобного подхода является существенным элементом планирования полевых работ. При значительном ухудшении экологического состояния арктических озер на фоне активного освоения месторождений углеводородных ископаемых выделение водоемов с особыми характеристиками как никогда актуально на заповедных территориях, основная задача которых состоит в сохранении природных комплексов во всем их многообразии.

Регион исследования

Почти вся территория НАО (за исключением крайнего северо-востока) находится в пределах Восточно-Европейской (Русской) равнины. В геологическом отношении она принадлежит двум разновозрастным докембрийским осадочным плитам – Русской и Печорской. Практически на всей территории

наблюдается многолетняя мерзлота мощностью до 0,2 км с привязанными к ней криогенными и посткриогенными ландшафтами. В пределах рассмотренных ООПТ преобладает аккумулятивный рельеф, представленный морскими, речными и озерными террасами, аллювиально-морскими равнинами, морскими и ледниково-морскими бугристо-грядовыми равнинами. На юге Ненецкого заказника выявлен денудационный рельеф, к которому относятся пологие склоны гряд и возвышенностей среднеплейстоцен-голоценового возраста [Степунин, 2015б]. Повсеместное распространение имеют термокарстовые озера, покрывающие обширные пространства тундры сетью малых, часто связанных друг с другом водоемов. Встречаются старичные озера, расположенные в долине р. Печоры, а также ледниковые и лагунные.

Несмотря на то что в округе проживает лишь около 45 тыс. человек, он обладает значительным экономическим потенциалом в силу своего положения в северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, в пределах которой открыто 83 месторождения углеводородного сырья. Начало их активного освоения пришлось на конец XX в. и сопровождалось значительными изменениями в природной среде и в водных экосистемах [Даувальтер, Хлопцева, 2008]. Как результат в целом ряде регионов НАО наблюдается масштабное антропогенное эвтрофирование водоемов и повышение содержания токсичных веществ в воде и донных отложениях. Для обеспечения экологической безопасности представляется рациональным проведение в пределах НАО масштабных лимнологических работ, при этом большое значение имеет обследование озер, обладающих уникальными свойствами.

Материалы и методы исследования

В ходе проведенных ранее работ с применением картографического материала и спутниковых снимков был выполнен сбор информации по морфометрическим характеристикам озер, включенных в список ООПТ России [Измайлова, Корнеенкова, 2021]. Выборка ООПТ формировалась на основе данных, представленных на официальном портале информационно-аналитической системы [Особо охраняемые ...]. Было замечено, что наиболее густая озерная сеть приходится на ООПТ, расположенные в пределах НАО. Наличие большого числа водных объектов крупных ООПТ, находящихся в пределах генетически однородных территорий, дает хорошую перспективу для исследования морфометрических характеристик математическими методами идентификации аномалий. В настоящем исследовании рассмотрено 4381 озеро Малоземельской тундры в границах заповедника «Ненецкий», заказника «Ненецкий», расположенное в пределах морских террас 6–10 и 12–20 м, а также водоемы речных террас и поймы р. Печоры в пределах заказника «Нижнепечорский».

Оценка количества водоемов и площадей их водной поверхности базировалась на автоматизированном дешифрировании с использованием набора данных Global Forest Change (GFC) [Hansen, 2013]. Выбор данного массива обусловлен отсутствием необходимости предварительной обработки тайлов, в том числе преобразования индексированного изображения в бинарный

растр, содержащий только значения «вода» и «суша». Набор данных GFC основан на обработке изображений Landsat за период с 2000 по 2021 г. [Google Earth Engine, 2022]. Массив GFC представляет собой наборы тайлов размером 10×10 градусов, имеющих пространственное разрешение 1 угловая секунда на пиксель. В работе использовались растры, полученные из массива GFC, характеризующие протяженность водной поверхности. Каждый пиксель растра имеет значение 0 (области без данных), 1 (поверхность земли) или 2 (постоянные водоемы, т. е. водная поверхность идентифицируется в 50 % времени наблюдений в период вегетации).

Обработка растров и извлечение площадных характеристик водных объектов осуществлялись в программной среде QGIS. В ходе автоматизированной обработки массива GFC производились векторизация растровых данных, перепроецирование векторных слоев в прямоугольную систему координат. Методом визуального дешифрирования выполнялось исправление поврежденной или неправильной геометрии полигонов и уточнение площадей, после чего производилось вычисление морфометрических характеристик озер. Из итоговых расчетов были исключены водоемы площадью менее $0,01 \text{ км}^2$ в связи с погрешностями определения их площадных и линейных характеристик.

Районирование в целях выделения статистических совокупностей озер с учетом рельефа территории проводилось на основе данных геоморфологических схем масштаба 1:2 500 000 [Степунин, 2015а; Зинченко, 2014а; Зинченко, 2014б; Степунин, 2015б].

В ходе работ были получены площадные характеристики (S , км^2) 4381 водоема, расположенного в пределах ООПТ, и линейные характеристики для 707 озер. Последние включали: длину (L , км), среднюю (W_{avg} , км) и максимальную (W_{max} , км) ширину и периметр (P , км). Дополнительно рассматривались: безразмерный коэффициент сжатия зеркала озера $k_s = \frac{W_{\text{avg}}}{L}$,

безразмерный показатель удлинненности ($1/k_s$), безразмерная площадь озера $S^* = \frac{S}{S_{KS}}$ (где $S_{KS} = 3,86 \cdot 10^5 \text{ км}^2$ – площадь Каспийского моря), а также без-

размерный коэффициент изрезанности береговой линии $K = \frac{L}{2\pi R} = \frac{L}{2\sqrt{\pi S}}$

(где R – радиус окружности, площадь которой равна площади озера). Из числа озер, по которым были получены и площадные и линейные характеристики, 150 расположены в пределах речных террас и поймы р. Печоры в ее нижнем течении, в границах заказника «Нижнепечорский». Остальные водоемы находятся в пределах приморских районов в границах Ненецкого заказника и Ненецкого заповедника: 449 водоемов приурочены к заболоченным высоким равнинам и террасам с озерами, термокарстом, буграми пучения, 108 – к террасам побережья Баренцева моря с абсолютными отметками 6–10 м. Статистический анализ выборки (табл. 1) показывает, что распределения, описывающие каждый из морфометрических параметров, не являются гауссовскими, имеют сильную положительную асимметрию с ярко выраженным пиком.

Распределения такого вида сложно поддаются анализу статистическими критериями идентификации выбросов, в связи с этим поиск аномальных значений производился с помощью модели кластерной идентификации аномалий.

Таблица 1

Статистические оценки морфометрических характеристик озер НАО

Параметр	Количество озер N	Минимум	Максимум	Среднее	Стандартное отклонение	Дисперсия	Асимметрия	Экссесс
L , км	707	0,140	50,580	0,959	2,516	6,332	15,929	286,104
W_{avg} , км	707	0,052	5,055	0,323	0,317	0,100	7,319	86,136
W_{max} , км	707	0,090	10,200	0,489	0,575	0,331	9,718	137,287
P , км	4380	0,413	132,802	1,520	3,306	10,927	25,366	894,327
S , км ²	4381	0,010	195,749	0,183	3,640	13,252	47,366	2344,987
k_s	707	0,033	1,015	0,438	0,180	0,032	0,026	-0,546
l/k_s	707	0,986	30,093	3,042	2,572	6,618	4,477	28,902
S^*	3251	$2,591 \cdot 10^{-8}$	$5,071 \cdot 10^{-4}$	$5,656 \cdot 10^{-7}$	$1,094 \cdot 10^{-5}$	$1,196 \cdot 10^{-10}$	40,899	1745,370
K	707	0,280	1,547	0,468	0,151	0,023	2,549	9,324

В данном исследовании для обработки данных использовалось программное приложение IBM SPSS Modeler [A Robust and Scalable ... , 2001; SPSS Modeler ... , 2020]. В программный продукт входит алгоритм поиска аномалий, состоящий из трех этапов.

1. Моделирование. Основной целью этого этапа является распределение каждого наблюдения (записи) по кластерам. Предварительно все данные обрабатываются: удаляются пустые и очень большие ($>10^{150}$) значения переменных. Отсутствующие значения каждой входной переменной X_k , $k = 1 \dots K$, заменяются ее средним M_k для количественных переменных и значением «пропущенное значение» – для категориальных переменных.

В алгоритме используется модель двухэтапной кластеризации (TwoStep Cluster), [Bacher, Wenzig, Vogler, 2004; Punj, David, 1989; Shih, Jheng, Lai, 2010]. TwoStep-метод основан на иерархической кластеризации и состоит из двух этапов: 1) предварительной кластеризации всех записей на максимальное количество кластеров и 2) минимизации количества кластеров. Особенностью модели двухэтапной кластеризации является то, что она может обрабатывать входные переменные как категориального, так и количественного типов [Everitt, Landau, Leese, 2011]. Этот момент был важен в данном исследовании, так как входные переменные включали в себя категориальные значения принадлежности объекта к генетической категории поверхностей согласно [Зинченко, 2014а], а также поле принадлежности к стратиграфо-генетическому подразделению [Гусев, Костин, 2014].

Предварительный кластер создается на основе объединения записей с наименьшим критерием расстояния. Процесс построения предварительного кластера реализован с помощью модифицированного дерева функций кластера (CF-tree (Clustering Feature)) [Han, Pei, Kamber, 2011]. CF-tree представ-

ляет собой связанный ациклический граф (дерево). Построение дерева кластеризации идет с помощью алгоритма BIRCH (сбалансированное итеративное сокращение и кластеризация с использованием иерархий, от Balanced Iterative Reducing and Clustering using Hierarchies) [Han, Pei, Kamber, 2011; Ramadhani, Zarlis, Suwilo, 2020; Zhang, Ramakrishnan, Livny, 2004; Babu, Murty, Subrahmanya, 2013].

Измерение расстояний в методе двухэтапной кластеризации между подкластерами i и j определяется следующим образом:

$$d(i, j) = \xi_i + \xi_j - \xi_{i-j} \quad (1)$$

ξ_p можно интерпретировать как дисперсию в кластерах, где коэффициент p указывает на конкретный подкластер, (i, j) – кластер, образованный объединением кластеров i и j :

$$\xi_p = -N_p \left(\sum_{k=1}^{K^A} \frac{1}{2} \cdot \ln(\hat{\sigma}_k^2 + \hat{\sigma}_{pk}^2) + \sum_{k=1}^{K^B} \hat{E}_{pk} \right), \quad (2)$$

где N_p – количество объектов в кластере p , $\hat{\sigma}_k^2$ – дисперсия k -й непрерывной переменной для всех объектов, $\hat{\sigma}_{pk}^2$ – дисперсия k -й непрерывной переменной в кластере p , K^A – количество полей числового типа, K^B – количество полей символьного типа, \hat{E}_{pk} – мера дисперсии категориальных переменных:

$$\hat{E}_{pk} = -\sum_{l=1}^{L_k} \frac{N_{pkl}}{N_p} \cdot \ln \left\{ \frac{N_{pkl}}{N_p} \right\},$$

где L_k – количество категорий для k -го символьного поля, N_{pkl} – количество записей в кластере p , относящихся к l -й категории k -го символьного поля. Из (2) видно, что дисперсия состоит из двух слагаемых: первое отвечает за дисперсию непрерывных переменных внутри кластера, второе – мера дисперсии категориальных переменных.

На первом шаге двухэтапной кластеризации для автоматического определения количества кластеров используют информационный критерий Байеса $BIC(J)$, который имеет вид

$$BIC(J) = -2 \sum_{j=1}^J \xi_j + m_j \ln N, \quad (3)$$

где J – количество кластеров, N – общее количество записей во всех кластерах, $m_j = J \left\{ 2K^A + \sum_{k=1}^{K^B} (L_k - 1) \right\}$.

С помощью (3) можно дать начальную оценку максимального количества кластеров $R_l(J)$, которое равно отношению изменения информационного критерия Байеса при каждом объединении кластеров к первому объедине-

нию. Пусть $dBIC(J)$ будет разницей BIC между моделью с J кластерами и моделью с $J+1$ кластерами, тогда $dBIC(J) = BIC(J) - BIC(J + 1)$ и коэффициент изменения для модели

$$R_1(J) = \frac{dBIC(J)}{dBIC(1)}, \quad (4)$$

где $R_1(J)$ – максимальное количество кластеров, $dBIC(1)$ – разница между информационными критериями Байеса для первой итерации, т. е. между моделями с первым и вторым кластерами.

Максимальное количество кластеров равно количеству кластеров, в котором $R_1(J)$ меньше порогового значения (0,04), в противном случае количество кластеров равно 1.

На втором шаге двухэтапной кластеризации происходит объединение подкластеров модели, полученной на первом шаге алгоритма, с помощью агломеративной иерархической кластеризации по признаку наименьшего расстояния между ними, пока не останется минимальное количество кластеров. Далее осуществляется уточнение количества кластеров с помощью наибольшего относительного увеличения расстояния $R_2(k)$ между ближайшими кластерами, определяемого следующим образом: пусть C_k – кластерная модель из k кластеров, C_{k+1} – кластерная модель, полученная на предыдущем этапе процедуры иерархической кластеризации, тогда $R_2(k)$ имеет следующий вид:

$$R_2(k) = \frac{d_{\min}(C_k)}{d_{\min}(C_{k+1})}, \quad (5)$$

где $R_2(k)$ – относительное увеличение расстояния между двумя ближайшими кластерами, $d_{\min}(C_i)$ – минимальное расстояние между кластерами для кластерной модели C_i , рассчитанное по формуле (1).

Изменение отношения $R_2(k_1)/R_2(k_2)$ для двух наибольших значений, полученных на первом шаге двухэтапной кластеризации, устанавливает количество кластеров, так что если отношение больше, чем пороговое (1,154), то количество кластеров такое же, как для k_1 , в противном случае равно $\max\{k_1, k_2\}$.

Этап завершается созданием библиотеки достаточной статистики, включающей: общее среднее M_k , стандартное отклонение SD_k каждой непрерывной переменной, размер каждого кластера n_h , среднее значение каждого кластера M_{hk} и его стандартное отклонение SD_{hk} на основе экземпляров кластера; в случае с категориальными переменными сохраняется частота каждой n_{jkh} каждой категории j -й переменной на основе экземпляра в кластере h и вместо среднего значения кластера – его модальная категория M_{hk} .

2. Оценка аномалий. Полученная кластерная модель применяется к каждой записи в выборке для определения принадлежности ее к кластеру. Обработанная запись присваивается к ближайшему кластеру.

Далее производится расчет индексов отклонения VDI_k записи a от ближайшего кластера h для каждого наблюдения s как вклад k -й переменной $d_k(h, s)$ в логарифмическое расстояние правдоподобия $d(h, s)$ (1). Индекс отклонения записи является мерой отклонения значения переменной X_k от M_{hk} .

На этом этапе также рассчитывается индекс группового отклонения GDI (Group deviation index) записи, представляющий собой логарифмическое расстояние правдоподобия $d(h, s)$ как сумму всех индексов отклонения переменных $\{VDI_k, k = 1, \dots, K+1\}$. Последним рассчитывается индекс аномалии записи как отношение GDI наблюдения к среднему GDI кластера. Индекс аномалии вычисляется для каждой записи, так что чем больше индекс, тем больше отклонение от среднего индекса группового отклонения кластера. Обычно кандидатами в аномалии можно считать записи с индексом аномалии больше 1–1,5. Но на практике принимается, что эти значения не сильно отличаются от среднего, поэтому основательными кандидатами в аномалии признаются записи с индексом аномалии больше 2.

Мера изменения вклада переменной в каждой записи является отношением VDI к GDI этого наблюдения. Чем больше данная величина, тем сильнее вклад переменной в отклонение.

3. Вывод. Записи сортируются в порядке убывания индекса аномалии. Для каждого аномального наблюдения производится сортировка по индексам отклонения переменных VDI_k в порядке убывания, указываются причины, по которым запись считается аномальной.

Статистическое распределение и схожесть озер по морфометрическим характеристикам сильно зависят от происхождения озерной котловины [Расулова, Измайлова, 2021], что влияет на кластеризацию. Поэтому предварительно все озера в соответствии с геоморфологической схемой [Степунин, 2015a] были разделены на три группы: озера террас и поймы р. Печоры, озера высоких морских террас и озера средних морских террас. Каждая выделенная группа анализировалась отдельно.

Результаты исследования

В результате применения алгоритма TwoStep Cluster к выборке морфометрических параметров озер, расположенных в пределах ООПТ НАО, были выявлены 418 объектов с индексом аномалий больше 2, 42 из которых были признаны аномалиями алгоритмом (рис., табл. 2). Анализ показал, что наибольший вклад в индекс аномальности вносят изрезанность береговой линии K и показатель удлинённости $1/k_s$ (23 и 19 % от всех аномалий), а наименьший – коэффициент сжатия k_s (2 % аномальных значений).

Первичная экспертная оценка итогового набора озер на предмет уникальности их экосистем продемонстрировала, что выбранный метод идентификации аномальных значений подходит для поставленной задачи. В итоговый набор вошли такие эпизодически изучаемые озера, как Голодная Губа, Песчанка-То, Кузнецкое-То, известные своеобразными для данного региона характеристиками и представлявшие бесспорный научный интерес.



Рис. Озера с аномальными характеристиками, выявленные в пределах заказников «Ненецкий» и «Нижнепечорский» и заповедника «Ненецкий»:

1 – исследованные озера; 2–4 – озера с аномальными характеристиками: 2 – средних морских террас, 3 – высоких морских террас, 4 – поймы и террас р. Печоры; 5 – границы ООПТ: I – Государственный природный заповедник «Ненецкий», II – Государственный природный заказник федерального значения «Ненецкий», III – Государственный природный заказник регионального значения «Нижнепечорский»

Таблица 2

Перечень выявленных озер с аномальными параметрами

№ п/п	Координаты		L, км	W _{avg} , км	W _{max} , км	P, км	S, км ²	k _s	l/k _s	K	Индекс аномальности	
	X, градусы в. д.	Y, градусы с. ш.										
Озера средних морских террас												
1	52,91609	68,74233	5,81	0,89	2,11	23,53	5,2	0,15	6,5	0,72	71,0	
2	53,49129	68,37047	0,8	0,14	0,21	2,46	0,11	0,17	5,93	0,69	8,7	
3	53,90508	68,40264	0,71	0,12	0,25	2,42	0,08	0,17	5,93	0,69	8,7	
4	53,82929	68,54239	0,59	0,1	0,16	1,69	0,06	0,17	5,8	0,68	8,6	
5	52,83720	68,72580	3,76	0,74	1,33	23,82	2,79	0,2	5,07	0,64	32,9	
6	52,55337	68,30196	3,71	0,83	1,65	н/д	3,09	0,22	4,45	0,6	28,0	
7	53,65806	68,41431	2,83	1,05	2,1	12,91	2,97	0,37	2,69	0,46	33,0	
8	53,83409	68,80624	1,56	0,82	1,4	11,58	1,29	0,53	1,89	0,39	13,6	
9	53,76828	68,38810	1,14	0,78	1,03	5,93	0,89	0,69	1,45	0,34	9,5	
10	52,61617	68,37078	н/д*	н/д	н/д	24,94	5,07	н/д	н/д	н/д	23,2	
11	53,85156	68,83033	2,08	0,35	0,57	8,60	0,72	0,17	5,98	0,69	11,0	

Окончание табл. 2

№ п/п	Координаты		L, км	W _{avg} , км	W _{max} , км	P, км	S, км ²	k _s	l/k _s	K	Индекс ано-мальности
	X, градусы в. д.	Y, градусы с. ш.									
Озера поймы и террас р. Печоры											
12	52,72316	67,86383	38,72	5,06	10,20	114,58	195,75	0,13	7,66	0,78	103,8
13	53,51767	68,12357	5,21	0,17	0,56	16,31	0,90	0,03	30,09	1,55	12,4
14	53,39817	68,10543	1,03	0,05	0,10	2,75	0,06	0,05	19,29	1,24	5,5
15	53,28671	68,07199	0,94	0,05	0,09	2,21	0,05	0,06	18,03	1,20	4,9
Озера высоких морских террас											
16	53,06137	68,68016	50,58	2,69	6,64	132,80	136,02	0,05	18,81	1,22	121,3
17	53,63843	68,81104	7,14	3,21	4,52	21,88	22,95	0,45	2,22	0,42	17,7
18	52,76614	68,61704	2,40	0,12	0,43	7,30	0,29	0,05	19,79	1,26	10,5
19	53,29095	68,76343	10,50	0,93	2,38	42,12	9,80	0,09	11,25	0,95	9,5
20	52,92262	68,49652	0,80	0,25	0,47	3,30	0,20	0,31	3,22	0,51	9,2
21	53,34968	68,53942	0,38	0,22	0,28	1,55	0,08	0,58	1,72	0,37	8,3
22	52,85683	68,61640	5,74	2,06	3,11	29,54	11,82	0,36	2,79	0,47	8,1
23	53,57270	68,47895	10,00	1,27	3,10	24,71	12,72	0,13	7,86	0,79	7,9
24	53,52603	68,49388	0,33	0,18	0,26	1,25	0,06	0,55	1,82	0,38	7,9
25	52,97182	68,57802	0,69	0,21	0,35	2,29	0,15	0,31	3,22	0,51	7,7
26	53,44621	68,58254	1,04	0,54	0,65	4,29	0,56	0,52	1,94	0,39	7,6
27	53,54106	68,83858	0,42	0,15	0,24	1,38	0,06	0,36	2,80	0,47	7,6
28	52,66369	68,58047	0,33	0,18	0,24	1,11	0,06	0,53	1,88	0,39	7,6
29	53,14301	68,72974	0,40	0,24	0,35	1,46	0,09	0,59	1,70	0,37	7,5
30	53,20656	68,7028	0,67	0,21	0,38	2,21	0,14	0,31	3,21	0,51	7,5
31	53,58753	68,67079	0,32	0,17	0,23	1,12	0,05	0,52	1,93	0,39	7,5
32	53,57368	68,67165	0,38	0,15	0,18	1,29	0,06	0,40	2,53	0,45	7,5
33	53,39604	68,64529	0,46	0,28	0,37	1,73	0,13	0,60	1,67	0,36	7,5
34	53,05480	68,54643	0,36	0,21	0,38	1,43	0,08	0,58	1,73	0,37	7,3
35	53,29876	68,51632	0,65	0,39	0,56	2,62	0,26	0,60	1,66	0,36	7,3
36	53,36890	68,52821	0,49	0,29	0,37	1,82	0,14	0,60	1,67	0,36	7,3
37	53,19478	68,80662	0,42	0,24	0,31	1,66	0,10	0,58	1,73	0,37	7,3
38	53,60706	68,65339	0,37	0,21	0,30	1,36	0,08	0,56	1,78	0,38	7,3
39	53,16311	68,81157	0,67	0,40	0,55	2,65	0,27	0,60	1,66	0,36	7,2
40	53,20225	68,54341	0,68	0,41	0,59	2,64	0,28	0,60	1,68	0,37	7,2
41	53,57512	68,64431	1,15	0,44	0,79	5,16	0,50	0,38	2,63	0,46	7,1
42	53,73973	68,70518	1,13	0,50	0,78	4,15	0,57	0,45	2,24	0,42	6,9

Примечание: * н/д – нет данных.

Озеро *Голодная Губа* (в табл. 2 под № 12) является самым крупным озером НАО, расположенным между дельтой, р. Печорой на востоке и Ненецкой грядой на западе. Озеро имеет ледниковое происхождение. До его формирования на месте современного водоема существовал эрозионный котлован, по

дну которого протекала река пра-Танной [Лавров, Потапенко, 2012]. Образование котлована объясняется эрозионной деятельностью потоков талой воды, спадавших с уступа глетчерного льда – древнего водопада. Благодаря своей мелководности (средняя глубина – около 2 м) в летний период оз. Голодная Губа хорошо прогревается. В озере обитают нельма, пелядь, сиг, ряпушка, чир, нагыш, язь, однако их численность в настоящее время резко снизилась, стали активно встречаться окунь и щука. На озере и его берегах отмечается множество птиц, в том числе водоплавающих. Окрестности озера являются местами произрастания редких видов растений.

Крупные солоноватые водоемы, такие как *Песчанка-То* и *Кузнецкое-То*, в прошлом являлись морскими заливами. В настоящее время озера сохраняют непосредственную связь с морем. Озеро *Песчанка-То* является вторым по площади озером НАО (№ 16 табл. 2), расположенным близ побережья Печорского моря. Характеризуется сложной формой, состоит из основного юго-западного и малого северо-восточного бассейнов, имеет множество заливов. Соединяется с Печорским морем короткой разветвленной протокой. На озере находятся гнездовья и места обитания водоплавающих и хищных птиц, в том числе занесенных в Красную книгу.

Многие из вошедших в итоговый набор водоемов ранее практически не изучались и могут рассматриваться как потенциальные объекты при проведении полевых исследований.

В пределах средней морской террасы среднего голоцена на отметках 6–10 м выявлены 11 озер с аномальными характеристиками (№ 1–11 табл. 2). Озера данной группы преимущественно удалены от побережья на 1–3 км (лишь оз. Выерто на 5,5 км). Индекс аномальности выделенных водоемов изменяется от 8,6 до 71, что говорит о достаточно больших отклонениях от характеристик остальных озер в подкластере. Наиболее высокое значение индекса (71) отмечено для оз. Сэрсёто (№ 1 табл. 2). Показатель удлиненности $1/k_s$ и коэффициент изрезанности береговой линии K для этого озера наибольшие в данной группе аномалий (6,5 и 0,72). Для семи водоемов получен индекс аномальности более 10 (озера Харьяхато, Выерто и др.), в том числе у двух озер, помимо Сэрсёто (Малое Болванское и Нижнее Низиеоиндто), зафиксирован индекс более 30. Анализ показателя удлиненности $1/k_s$ свидетельствует, что более 50 % выявленных озер средних морских террас относятся к овально-удлиненным.

В группе озер высокой морской террасы раннего голоцена на отметках 12–20, 22–40 м выявлено 27 водоемов-аномалий (№ 16–42 табл. 2), среди них из крупных озер – *Песчанка-То*, *Кузнецкое-То*, *Лымбанато*, *Сингэто* площадью от 9,8 до 136 км². Остальные водоемы имеют площади менее 1 км². Индекс аномальности изменяется от 6,9 до 121,3, наибольший показатель рассчитан для озер *Песчанка-То* (121,3) и *Кузнецкое-То* (17,7) (№ 16 и 17 табл. 2). Большая часть водоемов группы имеют значение индекса от 7 до 8. Наиболее высокие показатели удлиненности, а также коэффициента изрезанности береговой линии получены для трех озер – *Песчанка-То* (18,8 и 1,22), *Сингэто* (11,25 и 0,95, № 19), а также небольшого озера к западу от оз. Лым-

банато (19,79 и 1,26 соответственно, № 18 табл. 2). У большинства озер с аномальными характеристиками высоких морских террас форма котловины близка к округлой.

Озера речных террас и поймы р. Печоры голоценового возраста. Помимо уже упомянутого оз. Голодная Губа, к перечню объектов с аномальными характеристиками данной группы относятся три озера дельты Печоры между протоками Тундровый Шар и Средний Шар¹ (№ 13–15 табл. 2). Рассчитанный индекс аномальности в группе находится в диапазоне от 4,9 до 103,8 (оз. Голодная Губа). Анализ показателя удлиненности (l/k_s) свидетельствует о преобладании водоемов вытянутой формы.

Закключение

Использование ГИС и поиск аномалий, основанный на модели двух-этапной кластеризации, показали неплохие возможности предварительного выделения озер с уникальными характеристиками. В пределах крупных ООПТ НАО выделено 42 водоема, представляющих интерес для их дальнейшего изучения в полевых условиях. Для малонаселенных и логистически сложных северных территорий использование подобного аппарата является важным элементом планирования полевых работ. Изначальное выделение среди множества сходных объектов водоемов с особыми характеристиками видится исключительно важным на заповедных территориях, поскольку позволяет сконцентрировать внимание специалистов на изучении объектов, которые могут представлять наибольший научный интерес.

Список литературы

Гусев Е. А., Костин Д. А. Карта плиоцен-четвертичных образований // Цифровая модель листа Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-39,40 – о. Колгуев – прол. Карские Ворота. СПб. : Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 2 л.

Даувальтер В. А., Хлопцева Е. В. Гидрологические и гидрохимические особенности озер Большеземельской тундры // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11, № 3. С. 407–414.

Зинченко А. Г. Геоморфологическая схема, 1:2 500 000 // Цифровая модель листа Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-39,40 – о. Колгуев – прол. Карские Ворота. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014а. 2 л.

Зинченко А. Г. Геоморфология // Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-39,40 – о. Колгуев – прол. Карские Ворота. Объяснительная записка. СПб. : Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2014б. С. 228–248.

Измайлова А. В., Корнеенкова Н. Ю. Озера, обладающие охранным статусом // Заповедники и национальные парки – научно-исследовательские лаборатории под открытым небом : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 12–14 окт. 2021 г. Петрозаводск, 2021. С. 176.

Особо охраняемые природные территории России : информационно-аналитическая система / ФГБУ ААНИИ, Лаборатория геоинформационных технологий. URL: <http://oopt.aari.ru/> (дата обращения: 11.10.2020).

Лавров А. С., Потанин Л. М. Неоплейстоцен Печорской низменности и Западного Приитиманья (стратиграфия, палеогеография, хронология). М., 2012. 191 с.

Поздняков Ш. Р., Измайлова А. В., Расулова А. М. Уникальные озера как объект научного интереса // Известия РГО. 2020. Т. 152, № 3. С. 17–31.

Расулова А. М., Измайлова А. В. Применение алгоритма Isolation Forest для обоснования уникальности водоемов в группе карстовых озер // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7, № 11. С. 63–79. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/72>

Стенунин А. В. Геоморфологическая схема, 1:2 500 000 / ред. К. Э. Якобсон // Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-39 (Нарьян-Мар). СПб. : Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2015а. 2 л.

Стенунин А. В. Геоморфология // Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-39 (Нарьян-Мар). Объяснительная записка / ред. К. Э. Якобсон. СПб. : Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2015б. 517 с.

A Robust and Scalable Clustering Algorithm for Mixed Type Attributes in Large Database Environment / T. Chiu, D. Fang, J. Chen, Y. Wang, C. Jeris // Proceedings of the 7th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2001. P. 263–268.

Babu T. R., Murty M. N., Subrahmanya S.V. Data Mining Paradigms // Compression Schemes for Mining Large Datasets. Advances in Computer Vision and Pattern Recognition. London : Springer, 2013. P. 11–46.

Bacher J., Wenzig K., Vogler M. SPSS TwoStep Cluster – a first evaluation // Arbeits- und Diskussionspapiere. Universität Erlangen-Nürnberg, Sozialwissenschaftliches Institut, Lehrstuhl für Soziologie. 2004. 32 p.

Everitt B. S., Landau S., Leese M. Cluster Analysis. 5th ed. Chichester : Wiley, 2011. 352 p.

Google Earth Engine. URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog> (date of access: 20.09.2022).

Han J., Pei J., Kamber M. Data Mining: Concepts and Techniques. 3rd edition. Morgan Kaufmann Publisher, 2011. 744 p.

Hansen M. C. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342 (6160). P. 850–853.

Punj G., David W. S. Cluster Analysis in Marketing Research: Review and Suggestions for Application // Journal of Marketing Research. 1983. Vol. 20, N 2. P. 134–48. <https://doi.org/10.2307/3151680>

Ramadhani F., Zarlis M., Suwilo S. Improve BIRCH algorithm for big data clustering // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 725 (012090). 11 p.

Shih M.-Yi, Jheng J.-W., Lai L.-F. A Two-Step Method for Clustering Mixed Categorical and Numeric Data // Journal of Applied Science and Engineering. 2010. Vol. 13, N 1. P. 11–19. <https://doi.org/10.6180/jase.2010.13.1.02>

SPSS Modeler Algorithms Guide. IBM Corporation, 2020. P. 804.

Zhang T., Ramakrishnan R., Livny M. BIRCH: A New Data Clustering Algorithm and Its Applications // Data Mining and Knowledge Discovery. 2004. Vol. 1. P. 141–182.

References

Gusev Ye.A., Kostin D.A. Karta pliotsen-chetvertichnykh obrazovaniy [Map of the Pliocene-Quaternary formations]. *Tsifrovaya model lista Gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000. Tret'ye pokoleniye. Seriya Severo-Karsko-Barentsevomorskaya. List R-39,40 – o. Kolguyev – prol. Karskiye Vorota* [Digital model of a sheet of the State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1,000,000. Third generation. North Kara-Barents Sea Series. Sheet R-39,40 – Kolguev Island - Karskiye Vorota Strait]. St. Petersburg, VSEGEI Press., 2014, 2 l. (in Russian)

Dauval'ter V.A., Khloptseva Ye.V. Gidrologicheskiye i gidrokhimicheskiye osobennosti ozer Bol'shezemel'skoy tundry [Hydrological and hydrochemical features of the lakes of the Bolshezemel'skaya tundra]. *Vestnik MGTU* [Bulletin of MSTU], 2008, vol. 11(3), pp. 407-414. (in Russian)

Zinchenko A.G. Geomorfologicheskaya skhema, 1:2 500 000 [Geomorphological scheme, 1:2,500,000]. *Tsifrovaya model' lista Gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000. Tret'ye pokoleniye. Seriya Severo-Karsko-Barentsevomorskaya. List R-39,40 – o. Kolguyev – prol. Karskiye Vorota* [Digital model of a sheet of the State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1,000,000. Third generation. North Kara-Barents Sea Series. Sheet R-39,40 - Kolguev Island - Karskiye Vorota Strait]. St. Petersburg, VSEGEI Press., 2014b, 2 l. (in Russian)

Zinchenko A.G. Geomorfologiya [Geomorphology]. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 00. Tret'ye pokoleniye Seriya Severo-Karsko-*

Barentsevomorskaya. List R-39,40 – o. Kolguyev – prol. Karskiye Vorota . Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000. Third generation. North Kara-Barents Sea Series. Sheet R-39,40 - Kolguev Island - Karskiye Vorota Strait. Explanatory letter]. St. Petersburg, VSEGEI Press., 2014a, 405 p. (in Russian)

Izmaylova A.V., Korneyenkova N.Yu. Ozora, obladayushchiye okhrannym statusom [Lakes with protected status]. *Zapovedniki i natsional'nyye parki – nauchno-issledovatel'skiye laboratorii pod otkrytym nebom: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Petrozavodsk, 12-14 oktyabrya, 2021* [Nature Reserves and National Parks – Open Air Research Laboratories: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Petrozavodsk, October 12-14, 2021]. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2021, pp. 176. (in Russian)

Informatsionno-analiticheskaya sistema “Osobo okhranyayemye prirodnyye territorii Rossii” [Information and Analytical System “Specially Protected Natural Territories of Russia”]. *FGBU AANII, Laboratoriya geoinformatsionnykh tekhnologiy* [Federal State Budgetary Institution AANII, Laboratory of Geoinformation Technologies]. Available at: <http://oopt.aari.ru/> (date of access: 11.10.2020). (in Russian)

Lavrov A.S., Potapenko L.M. *Neopleystotsen Pechorskoy nizmennosti i Zapadnogo Pritiman'ya (stratigrafiya, paleogeografiya, khronologiya)* [Neopleistocene of the Pechora Lowland and Western Timan Region (stratigraphy, paleogeography, chronology)]. Moscow, 2012, 191 p. (in Russian)

Pozdnyakov Sh.R., Izmailova A.V., Rasulova A.M. Unikal'nyye ozora kak ob'yekt nauchnogo interesa [Unique lakes as an object of scientific interest]. *Izvestiya RGO* [Regional Research of Russia], 2020, vol. 152(3), pp. 17-31. (in Russian)

Rasulova A.M., Izmaylova A.V. Primeneniye algoritma Isolation Forest dlya obosnovaniya unikal'nosti vodoyemov v grupe karstovykh ozer [Application of the Isolation Forest Algorithm to Substantiate the Uniqueness of Water Bodies in the Group of Karst Lakes]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice], 2021, vol. 7(11), pp. 63-79. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/72> (in Russian)

Stepunin A.V. Geomorfologicheskaya skhema, 1:2 500 000 [Geomorphological scheme, 1:2,500,000]. *Komplekt tsifrovyykh materialov po listu Gosudarstvennoy geologicheskoy karty RF masshtaba 1:1 000 000 (tret'yego pokoleniya). Seriya Mezenskaya. List Q-39 – Nar'yan-Mar* [A set of digital materials according to the sheet of the State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:1,000,000 (third generation). Mezenskaya series. Sheet Q-39 (Naryan-Mar). Explanatory letter]. St. Petersburg, VSEGEI Press., 2015b, 2 l. (in Russian)

Stepunin A.V., Semenova L.R. Geomorfologiya [Geomorphology]. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniya). Seriya Mezenskaya. List Q-39 – Nar'yan-Mar. Ob'yasnitel'naya zapiska*. [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Mezenskaya series. Sheet Q-39 (Naryan-Mar)]. St. Petersburg, VSEGEI Press., 2015a, 393 p. (in Russian)

Chiu T., Fang D., Chen J., Wang Y., Jeris C. A Robust and Scalable Clustering Algorithm for Mixed Type Attributes in Large Database Environment. *In Proceedings of the 7th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2001, pp. 263-268.

Babu T.R., Murty M.N., Subrahmanya S.V. Data Mining Paradigms. *Compression Schemes for Mining Large Datasets. Advances in Computer Vision and Pattern Recognition*. London, Springer, 2013, pp. 11-46.

Bacher J., Wenzig K., Vogler M. SPSS TwoStep Cluster – a first evaluation. *Arbeits-und Diskussionspapiere*. Universität Erlangen-Nürnberg, Sozialwissenschaftliches Institut, Lehrstuhl für Soziologie, 2004, 32 p.

Everitt B.S., Landau S., Leese M. *Cluster Analysis. 5th ed.* Chichester, Wiley, 2011. 352 p.

Google Earth Engine. Available at: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog> (date of access: 20.09.2022).

Han J., Pei J., Kamber M. *Data Mining: Concepts and Techniques. 3rd edition*. Morgan Kaufmann Publ., 2011, 744 p.

Hansen M. C. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 2013, vol. 342 (6160), pp. 850-853.

Punj G., David W.S. Cluster Analysis in Marketing Research: Review and Suggestions for Application. *Journal of Marketing Research*, 1983, vol. 20, no. 2, pp. 134-48. <https://doi.org/10.2307/3151680>

Ramadhani F., Zarlis M., Suwilo S. Improve BIRCH algorithm for big data clustering. *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 725 (012090), 11 p.

Shih M.-Yi, Jheng J.-W., Lai L.-F. A Two-Step Method for Clustering Mixed Categorical and Numeric Data. *Journal of Applied Science and Engineering*, 2010, vol. 13 (1), pp. 11-19. <https://doi.org/10.6180/jase.2010.13.1.02>

SPSS Modeler Algorithms Guide. IBM Corporation 1994, 2020, 804 p.

Zhang T., Ramakrishnan R., Livny M. BIRCH: A New Data Clustering Algorithm and Its Applications. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2004, vol. 1, pp. 141-182.

Сведения об авторах

Измайлова Анна Владиленовна

доктор географических наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий, лаборатория озер и
водохранилищ
Государственный гидрологический институт
Россия, 199004, г. Санкт-Петербург, 2-я
линия Васильевского острова, 23
e-mail: ianna64@mail.ru

Корнеевская Наталья Юрьевна

младший научный сотрудник
Институт озероведения РАН – обособленное
структурное подразделение Санкт-
Петербургского федерального
исследовательского центра РАН
Россия, 196101, г. Санкт-Петербург,
ул. Севастьянова, 9
e-mail: natta-@bk.ru

Расулова Анна Мурадovна

кандидат физико-математических наук,
научный сотрудник
Институт озероведения РАН – обособленное
структурное подразделение Санкт-
Петербургского федерального
исследовательского центра РАН
Россия, 196101, г. Санкт-Петербург,
ул. Севастьянова, 9
e-mail: arasulova@gmail.com

Information about the authors

Izmailova Anna Vladilenovna

Doctor of Sciences (Geography),
Leading Research Scientist, Head,
Laboratory of Lakes and Reservoirs
State Hydrological Institute
23, 2nd line of Vasilyevsky Island, St. Petersburg,
199004, Russian Federation
e-mail: ianna64@mail.ru

Korneenkova Natalya Yurievna

Junior Research Scientist
Institute of Limnology RAS – a Separate
Structural Subdivision of St. Petersburg
Federal Research Center RAS
9, Sevastyanov st., St. Petersburg, 196101,
Russian Federation
e-mail: natta-@bk.ru

Rasulova Anna Muradovna

Candidate of Science (Physical and
Mathematical), Research Scientist
Institute of Limnology RAS – a Separate
Structural Subdivision of St. Petersburg Federal
Research Center RAS
9, Sevastyanov st., St. Petersburg, 196101,
Russian Federation
e-mail: arasulova@gmail.com